

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 76 01206**

(54) **Méthode d'exploration sismique d'un milieu.**

(51) Classification internationale (Int. Cl.<sup>2</sup>). **G 01 V 1/00.**

(22) Date de dépôt ..... **19 janvier 1976, à 13 h 49 mn.**

(33) (32) (31) **Priorité revendiquée :**

(41) Date de la mise à la disposition du  
public de la demande ..... **B.O.P.I. — «Listes» n. 32 du 12-8-1977.**

(71) **Déposant : BARBIER Maurice, résidant en France.**

(72) **Invention de :**

(73) **Titulaire : Idem (71)**

(74) **Mandataire :**

La présente invention concerne une méthode ou procédé d'exploration sismique d'un milieu et plus particulièrement la prospection géophysique par ondes sismiques.

Une méthode connue consiste à utiliser des sources d'émission par exemple trois sources, chacune d'entre elles émettant le même signal long et continu pendant une durée d'émission  $T$ , puis à enregistrer sur des récepteurs ou géophones les signaux réfléchis par les différents réflecteurs ou strates du milieu à explorer pendant un temps au moins égal à  $T + \theta$ ,  $\theta$  étant le temps d'écoute ou temps de parcours aller et retour d'une onde émise entre la surface dudit milieu et le réflecteur le plus profond atteint par ladite onde. Pour que cette méthode soit satisfaisante, on émet des signaux synchrones et on corrèle les signaux reçus avec une réplique du signal émis par les sources. Le résultat est un enregistrement qui dans le cas des trois sources considérées, est la somme des trois réflexions correspondant aux trois trajets différents sources-réflecteur-récepteurs, et ce bien entendu pour chacun des réflecteurs du milieu. Ainsi, pour chaque réflecteur du milieu à explorer, on couvre la portion de réflecteur égale à la moitié de la distance séparant les sources d'émission extrêmes. Tous les signaux réfléchis sur cette portion étant confondus, il est impossible de séparer les différents points de réflexion dus à chacune des sources parce qu'il est impossible de séparer les informations relatives à chacune des sources.

En outre, étant donné que les trois sources d'émission envoient rigoureusement le même signal dans le sol, les maxima de leur fonction d'autocorrélation sont bien entendu en phase, mais également les résidus desdites fonctions d'autocorrélation et on perd ainsi la possibilité d'améliorer le rapport signal sur bruit de corrélation, ce qui est un autre inconvénient.

La présente invention a pour but de proposer un perfectionnement à la méthode décrite ci-dessus tout en éliminant les inconvénients.

Un autre but de la présente invention est de permettre, sur la zone explorée et au dernier moment, de séparer ou non les informations dues à chaque source d'émission. On obtient ainsi plus d'informations sur la subsurface pour un même prix du kilomètre de profil terrain.

Elle a pour objet une méthode qui consiste à émettre dans le milieu à explorer des signaux continus obtenus à partir de plusieurs sources d'émission, à enregistrer les signaux réfléchis par les différents réflecteurs dudit milieu pendant au moins une  
5 durée égale à la somme de la durée d'émission la plus longue d'une desdites sources et du temps d'écoute qui est le temps de parcours aller et retour de l'onde se propageant dans ledit milieu, et à traiter les signaux reçus par les récepteurs pour déterminer les différents temps de parcours des signaux réfléchis, ladite méthode  
10 étant caractérisée en ce que chaque signal continu émis par une des sources est non corrélable avec l'un quelconque des signaux émis par chacune des autres sources et en ce que l'ensemble des signaux émis par toutes les sources pendant une séquence d'émission est arrêté au même instant.

15 L'expression "non corrélable" signifie que l'amplitude moyenne de la fonction de corrélation de l'un des signaux continus émis avec chacun des autres est d'un même ordre de grandeur que le résidu de corrélation, c'est-à-dire la valeur au-delà de l'impulsion maximale centrale, de la fonction d'autocorrélation de chacun  
20 des signaux continus émis par chacune des sources.

Une séquence d'émission représente une fois l'émission de chacune des sources suivie du temps d'écoute.

De cette manière, on peut utiliser des sources d'émission qui émettent des signaux qui ne sont pas en phase, opération qui  
25 est toujours délicate à réaliser dans la méthode mentionnée ci-dessus.

Lorsqu'on arrête au même instant l'ensemble des signaux émis pendant une séquence d'émission, les maxima des intercorrélations de chacun des signaux émis par chacune des sources d'émission ou  
30 vibrateurs avec les signaux réfléchis correspondants reçus par un même récepteur ou groupe de récepteurs sont en phase. Par contre les résidus de corrélation de chacune de ces fonctions de corrélation ne sont pas en phase. On a donc un maximum qui est mieux différencié du bruit de corrélation.

35 Ceci peut être obtenu en utilisant des signaux ayant soit le même temps d'origine, la même durée d'émission  $T$  mais des bandes passantes différentes, soit la même bande passante mais des temps d'origine et des durées d'émission différentes, à condition toute-

fois que la fin des signaux soit synchrone.

Selon une autre caractéristique, chaque signal émis par chacune des sources est un signal continu et long constitué par un signal sinusoïdal d'amplitude constante dont la fréquence varie  
5 linéairement en fonction du temps.

Dès lors, il est aisé de modifier soit la bande passante en changeant au moins une des fréquences extrêmes du signal sinusoïdal, soit la durée du signal.

D'autres avantages et inconvénients ressortiront mieux à la  
10 lecture de la description donnée ci-dessous à titre indicatif mais non limitatif d'une mise en oeuvre de l'invention et du dessin annexé sur lequel :

la figure 1 est une représentation schématique des trajets des signaux réfléchis par un réflecteur, l'émission étant réalisée  
15 à partir de trois sources et la réception s'effectuant sur un récepteur;

les figures 2a, 2b, 2c, 2'a, 2'b, 2'c sont une représentation schématique d'une séquence d'émission et des fonctions d'auto-corrélation correspondantes de chacun des signaux émis. Le signal  
20 émis pendant une séquence d'émission est la somme des trois signaux 2a + 2b + 2c.

Les figures 3a, 3b, 3c, 3'a, 3'b, 3'c sont une représentation d'une autre séquence d'émission possible, le signal émis étant cette fois 3a + 3b + 3c.

25 La méthode selon l'invention consiste à utiliser plusieurs sources, par exemple trois vibreurs  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  qui émettent chacun un signal long et continu S1, S2 et S3 qui se réfléchit sur un réflecteur R avant de parvenir pour être enregistré sur un géophone ou récepteur G, étant précisé qu'on peut associer aux vibra-  
30 teurs V1 à V3 plusieurs géophones et/ou plusieurs groupes de géophones comme cela est réalisé dans la plupart des méthodes d'exploration.

Pendant une séquence d'émission, chacun des vibreurs émet un signal sinusoïdal d'amplitude sensiblement constante et dont la  
35 fréquence varie linéairement en fonction du temps, lesdits signaux émis par chacun des vibreurs étant différents, ce qui revient à dire que chacun des signaux émis par chaque vibreur n'est pas corrélable avec l'un quelconque des signaux émis par les autres vibrat urs.

Dans une forme de mise en oeuvre de la méthode selon l'invention, on utilise pour les trois vibreurs V1, V2 et V3 considérés, des signaux S1, S2 et S3 dont les bandes passantes W1, W2 et W3 sont comprises respectivement entre les fréquences  $f_1$  et  $f_2$ ;  $f_1'$  et  $f_2'$ , enfin  $f_1''$  et  $f_2''$ , et dont les fonctions d'autocorrélation représentées respectivement sur les figures 2'a, 2'b et 2'c sont constituées d'un pic central bordé de lobes secondaires ou résidu de corrélation, le rapport d'amplitude du pic central sur les résidus de corrélation étant d'un ordre de grandeur donné de façon que lesdits résidus de corrélation ne soient pas gênants, seul le pic central représentant l'information utile.

Chacun des signaux S1 à S3 est émis pendant une même durée T qui commence au même instant. Dans l'exemple des figures 2a à 2c, la durée T est de plusieurs secondes, la bande passante variant de 8-32 hz à 12-48 hz et la fonction d'autocorrélation n'étant représentée que sur une durée de 100 ms alors que la durée des signaux est de plusieurs secondes, par exemple 7 s.

Lorsque la bande passante du milieu à explorer est assez étroite, il est préférable d'utiliser non pas des signaux à bandes passantes différentes, mais des signaux de même bande comprise entre  $f_1$  et  $f_2$ , par exemple 10-40 hz mais de durées différentes, à condition que lesdits signaux S1, S2 et S3 se terminent au même instant quelle que soit leur durée comme cela apparaît aux figures 3a à 3'c.

Dans cet exemple, le signal S1 commence à l'instant zéro et est émis pendant une durée  $T_1$ , le signal S2 de durée  $T_2$  commençant  $t_2$  seconde après le début du signal S1 tandis que le signal S3 de durée  $T_3$  commence  $t_3$  seconde après le début du signal S1, l'enregistrement étant effectué pendant un temps  $T_1 + \theta$ ,  $T_1$  étant le signal le plus long émis et  $\theta$  étant le temps de parcours aller et retour le plus long des ondes se propageant dans le milieu à explorer. Les temps  $t_2$  et  $t_3$  sont choisis de façon que ni S2 ni S3 ne corrélerent avec S1 et que S2 et S3 ne corrélerent pas entre eux. L'ordre de grandeur de  $t_2$  et  $t_3$  dépend de la bande passante choisie. L'autocorrélation d'un signal (10-40)hz montre que pour un décalage de 100 ms le signal ne corréle plus avec lui-même. Pour une bande passante de (10-40)hz il suffira donc de prendre  $t_2$  et  $t_3 > 100$  ms et  $t_3 - t_2 > 100$  ms.

La méthode selon l'invention permet soit d'obtenir un enregistrement unique dans lequel toutes les informations provenant de chacune des sources sont mélangées, soit de séparer les informations dues à chacun des vibrateurs V1 à V3.

5 En effet, d'une part on choisit les signaux S1, S2 et S3 de façon que les fonctions d'intercorrélation, ou FIC, du signal S1 avec le signal S2, du signal S1 avec le signal S3 et du signal S2 avec le signal S3 soient peu différentes de zéro, c'est-à-dire de l'ordre du résidu de corrélation des fonctions d'autocorrélation  
10 des signaux S1, S2 et S3, ce qui d'une façon abrégée peut s'écrire FIC S1S2, FIC S1S3 et FIC S2S3 peu différentes de zéro, et d'autre part les fonctions d'autocorrélation de S1 (FAC S1), de S2 (FAC S2) et de S3 (FAC S3) ont leurs trois maxima en phase par rapport à une même origine des temps.

15 Lorsque les trois vibrateurs V1 à V3 émettent, cela revient à envoyer dans le milieu à explorer un signal (S1 + S2 + S3) et on reçoit donc sur le géophone G un signal qui est de la forme :

$$S1 \times f_1(t) + S2 \times f_2(t) + S3 \times f_3(t) \quad (1)$$

expression dans laquelle  $f_1(t)$ ,  $f_2(t)$  et  $f_3(t)$  sont respectivement  
20 les réponses impulsionnelles du milieu pour les positions qu'occupent à la surface du sol les vibrateurs V1, V2 et V3.

A la fin de la séquence d'émission et dans l'hypothèse où on ne souhaite pas une séparation des informations, on corrèle le signal de la formule (1) avec le signal total émis, c'est-à-dire  
25 (S1 + S2 + S3). On constate alors que le résultat obtenu est équivalent à celui que l'on aurait obtenu si les trois sources avaient émis le même signal. En effet, si on corrèle le signal reçu (1) avec le signal émis qui, dans ce cas, est la somme des trois signaux, à savoir (S1 + S2 + S3), on obtient le même résultat que celui obtenu en corrélant successivement par chacun des signaux et en  
30 ajoutant les résultats. Le résultat final peut donc s'écrire :

$$\begin{aligned} & \text{FAC S1} \times f_1(t) + \text{FIC S1S2} \times f_2(t) + \text{FIC S1S3} \times f_3(t) \\ & + \text{FAC S2} \times f_2(t) + \text{FIC S2S1} \times f_1(t) + \text{FIC S2S3} \times f_3(t) \\ & + \text{FAC S3} \times f_3(t) + \text{FIC S3S1} \times f_1(t) + \text{FIC S3S2} \times f_2(t) \end{aligned}$$

35

Soit une somme de 9 termes. Les deux derniers de chaque ligne peuvent être négligés par rapport au premier de chaque ligne puisque les différentes FIC sont sensiblement voisines de zéro.

D'autre part, puisque les trois autocorrélations  $S_1$ ,  $S_2$  et  $S_3$  ont leurs maxima en phase, tout se passe comme si on avait :

$$[f_1(t) + f_2(t) + f_3(t)] * \text{FAC } S_1$$

5  $S_1$  étant un signal dont la fonction d'autocorrélation serait la somme des fonctions d'autocorrélation de chacun des signaux émis. Ce résultat est analogue à ce qu'on obtient en "VIBROSEIS" normal où on trouve la somme des signaux réfléchis venant de  
10 différents points du réflecteur, convolué par l'autocorrélation du signal émis par les vibreurs qui émettent un même signal.

Dans l'hypothèse où on souhaite séparer les informations provenant de chaque source, il suffit de corrélérer le signal reçu dont l'expression est donnée par la formule (1), successivement avec  $S_1$ , puis  $S_2$ , puis  $S_3$ . Le résultat de la corrélation avec  $S_1$   
15 peut s'écrire :

$$(2) \quad \text{FAC } S_1 * f_1(t) + \text{FIC } S_2 S_1 * f_2(t) + \text{FIC } S_3 S_1 * f_3(t)$$

Comme les  $\text{FIC } S_2 S_1$  et  $\text{FIC } S_3 S_1$  sont voisines de zéro, on identifie donc  $f_1(t)$  par rapport à  $f_2(t)$  et  $f_3(t)$ . On obtiendrait évidemment  
20 des expressions analogues à (2) en corrélant successivement le signal reçu, expression (1), par  $S_2$  puis  $S_3$ .

Contrairement à d'autres méthodes de séparation d'informations, la présente méthode permet d'opérer au niveau d'un seul enregistrement individuel et ne nécessite pas un nombre minimum d'enregistrements avec des paramètres différents pour chacun d'eux à chaque  
25 point de tir, ou un code d'émission élaboré et prédéterminé apte à permettre au traitement, ladite séparation.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée à la méthode décrite ci-dessus, mais elle est susceptible de nombreuses variantes, accessibles à l'homme de l'art, suivant les applications  
30 envisagées et sans s'écarter pour cela de l'esprit de l'invention.

REVENDECATIONS

1.- Méthode d'exploration sismique d'un milieu, de type qui consiste à émettre dans ledit milieu à explorer des signaux continus provenant de plusieurs sources d'émission, à enregistrer sur  
5 des récepteurs les signaux réfléchis par les différents réflecteurs dudit milieu pendant au moins une durée égale à la somme de la durée d'émission la plus longue d'une desdites sources et du temps d'écoute qui est le temps de parcours aller et retour de l'onde se propageant dans ledit milieu, et à traiter les signaux reçus  
10 par les récepteurs pour déterminer les différents temps de parcours des signaux réfléchis et qui est caractérisée en ce que l'amplitude moyenne de la fonction de corrélation de l'un des signaux continus émis avec chacun des autres est d'un même ordre de grandeur que le résidu de corrélation de la fonction d'autocorrélation de chacun  
15 des signaux continus émis par chacune des sources, et en ce que l'ensemble des signaux émis par toutes les sources pendant une séquence d'émission est arrêté au même instant.

2.- Méthode selon la revendication 1, caractérisée en ce que le signal émis par chacune des sources d'émission est un signal  
20 long et continu.

3.- Méthode selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisée en ce que les signaux émis sont des signaux sinusoïdaux d'amplitude sensiblement constante dont la fréquence varie linéairement en fonction du temps.

25 4.- Méthode selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que dans une séquence d'émission les signaux émis ont des bandes passantes de fréquences différentes et des durées d'émission égales.

30 5.- Méthode selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que dans une séquence d'émission les signaux émis ont une même bande passante de fréquences et des durées d'émission distinctes.





